

Analisa Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pipa API 5L Grade X65 dengan Media Korosi FeCl_3

Gita Anggaretno, Imam Rochani dan Heri supomo

Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: imamr@oe.its.ac.id

Abstrak—*Submarine pipelines* (pipa bawah laut) di desain untuk transportasi minyak, gas atau air dari lepas pantai menuju *receiving point*. Baja API 5L Grade X65 merupakan jenis pipa baja yang banyak digunakan pada pipa penyalur gas, air, dan minyak pada pipa bawah laut. Sistem perpipaan ini tidak mungkin terbentuk tanpa adanya proses las. Pengelasan *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) merupakan las yang umum digunakan dalam struktur anjungan lepas pantai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi elektroda pengelasan terhadap laju korosi pada pipa API 5L Grade X65. Variasi elektroda yang digunakan adalah elektroda spesifikasi AWS yaitu E7018, E6010 dan E6013. Metode pengujian korosi ini menggunakan bantuan sel tiga elektroda dengan media korosi FeCl_3 yang mengacu pada ASTM G48. Dari pengujian ini didapatkan hasil laju korosi pada pengelasan pipa dengan elektroda E7018 adalah 0,53 mmpy, untuk elektroda E6013 adalah 0,69 mmpy, dan untuk E6010 adalah 0,62 mmpy. Perbedaan laju korosi tersebut dipengaruhi oleh *tensile strength* pada elektroda dan baja yang di las. Selisih kandungan unsur Mangan (Mn) pada pipa dan elektroda las juga mempengaruhi perbedaan laju korosi pada pipa. Berdasarkan hasil foto SEM (*Scanning Electron Microscope*), secara morfologi permukaan *weldmetal* dengan nilai laju korosi paling tinggi, permukaannya terlihat lebih kasar. Akan tetapi laju korosi hasil las dengan elektroda-elektroda tersebut masih berada pada level yang diijinkan.

Kata Kunci—Laju Korosi, FCAW, Elektroda, Pipa API 5L Grade X65.

I. PENDAHULUAN

PERPIPAAN merupakan sarana transportasi fluida yang paling diminati dalam dunia industri minyak dan gas. *Submarine pipelines* (pipa bawah laut) di desain untuk transportasi minyak, gas atau air dari lepas pantai menuju *receiving point*. Sistem perpipaan ini tidak mungkin terbentuk tanpa adanya proses las, pengelasan adalah proses metalurgi yang berdampak meningkatkan laju korosi. Pada pipa yang disambung atau di las akan lebih rentan mengalami korosi. Korosi ini bisa disebabkan karena faktor internal (pipa) atau eksternal seperti lingkungan dimana pipa itu beroperasi. Korosi yang terjadi pada pipa juga dapat disebabkan oleh material yang kurang cocok, lingkungan yang tidak seragam, tidak protektif dan tidak menguntungkan. Untuk itu diperlukanlah suatu metode pencegahan untuk mengatasi tantangan ini.

Korosi adalah penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya [1]. Berdasarkan pada teori kimia, korosi terjadi akibat adanya

reaksi oksidasi dan reduksi antara material dengan lingkungannya. Reaksi oksidasi diartikan sebagai reaksi yang menghasilkan elektron dan reduksi adalah reaksi antara dua unsur yang mengikat elektron [2].

Metode pencegahan korosi bisa berupa pemberian lapisan pelindung (*coating*) proteksi katodik dan pemilihan material. Sebelum memilih metode pencegahan yang digunakan, erat kaitannya dengan pemilihan metode tersebut kita harus mengetahui kondisi atau sifat lingkungan dari tempat dimana pipa itu dipasang. Selain faktor lingkungan, juga harus diperhatikan dari segi biaya.

Burhani [3] telah melakukan penelitian mengenai analisa pengaruh jenis elektroda terhadap laju korosi pada pengelasan SMAW pelat baja karbon yang sering digunakan dalam pembuatan kapal, didapat hasil bahwa variasi elektroda yang digunakan mempengaruhi besar laju korosinya.

Salah satu penyebab semakin cepatnya laju korosi dari suatu material adalah karena dilakukannya proses pengelasan pada material tersebut yang menyebabkan terjadinya rekristalisasi yang dapat mengubah karakteristik kekuatan dan korosi dari suatu struktur rekayasa. Salah satu variabel penting dalam prosedur pengelasan adalah elektroda. Penggunaan elektroda yang berbeda dalam pengelasan akan menghasilkan komposisi kimia *weld metal* yang berbeda, serta struktur *weld metal* dan HAZ (*Heated Affected Zone*) yang berbeda, sehingga laju korosi pada *weld metal* dari hasil pengelasan dengan menggunakan elektroda tersebut berbeda pula.

Pemilihan elektroda dengan kandungan kimia yang sesuai untuk pengelasan akan memperlambat terjadinya korosi, sehingga akan memperkecil biaya perawatan, karena dengan membandingkan laju korosi pada pemakaian elektroda yang berbeda dapat diketahui laju korosi yang paling minimum. Sistem perpipaan tidak mungkin tanpa proses pengelasan. Pengelasan adalah proses metalurgi yang berdampak pada peningkatan laju korosi. Oleh karena itu untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh pengelasan dengan variasi elektrode pada pipa, maka dilakukanlah penelitian mengenai pengaruh jenis elektroda terhadap laju korosi pada sambungan pipa API 5L Grade X65 yang biasa digunakan pada pipa bawah laut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Korosi

Korosi didefinisikan sebagai proses degradasi material akibat interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Interaksi tersebut menimbulkan reaksi korosi yang umumnya merupakan reaksi elektrokimia. Empat faktor yang mempengaruhi dan berperan dalam reaksi elektrokimia yang bisa mengakibatkan korosi, antara lain yaitu: Anode, Katoda, Larutan elektrolit dan penghantar (hubungan listrik) [1].

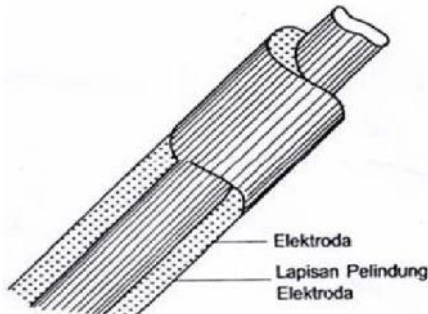
Korosi diartikan sebagai peristiwa alamiah yang terjadi pada bahan dan merupakan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam [4].

B. Laju Korosi

Laju korosi adalah peristiwa merambatnya proses korosi yang terjadi pada suatu material. Pada beberapa pengujian korosi sebagian besar yang dilakukan adalah laju korosi. Hal ini disebabkan laju korosi berkaitan erat dengan nilai ekonomis dan teknis materia.

C. Elektroda Pengelasan

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari suatu inti terbuat dari suatu logam di lapisi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia. Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari suatu inti terbuat dari suatu logam di lapisi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia. Gambar 1 adalah gambar elektroda las dengan lapisan pelindung elektroda.



Gambar 1. Elektroda las [5]

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (*American Welding Society*) dinyatakan dengan tanda E XXXX yang artinya sebagai berikut : E menyatakan elektroda busur listrik, XX (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik. X (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan. Angka 1 untuk pengelasan segala posisi. Angka 2 untuk pengelasan posisi datar di bawah tangan. X (angka keempat) menyatakan jenis fluks dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

D. Flux Cored Arc Welding (FCAW)

Pengertian pengelasan menurut Widharto [6] adalah salah satu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan. Berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan

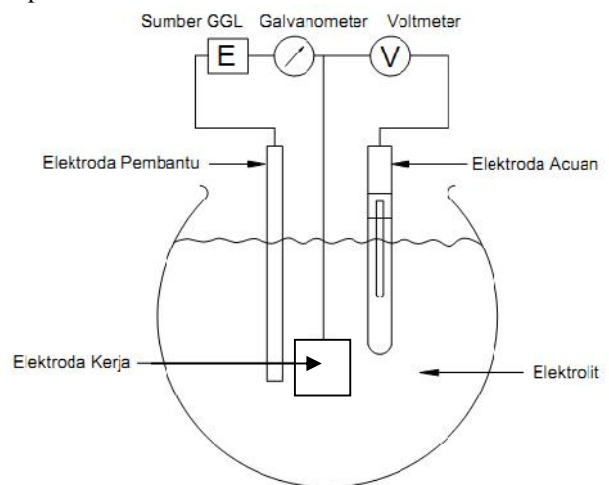
dalam keadaan lumer atau cair.

Las busur listrik merupakan salah satu jenis las listrik dimana sumber pemanasan atau pelumeran bahan yang disambung atau di las berasal dari busur nyala listrik. Las busur listrik adalah proses penyambungan logam dengan pemanfaatan tenaga listrik sebagai sumber panasnya. Salah satu contoh pengelasan busur listrik adalah FCAW. FCAW adalah pengelasan listrik dengan inti elektroda terbungkus fluks.

E. Sel 3 Elektroda

Sel tiga elektroda adalah perangkat laboratorium baku yang digunakan untuk uji korosi yang terdiri dari konfigurasi beberapa komponen. Komponen sel tiga elektroda adalah sebagai berikut:

- Elektroda kerja (*working electrode*) sebagai benda uji (anoda) yang dicelupkan pada fluida kerja. Ini sebutan yang diberikan kepada elektroda yang diteliti.
- Elektroda bantu (*auxiliary electrode*) yang digunakan untuk membantu memberikan potensial pada elektroda kerja dan mengangkut arus listrik yang timbul akibat reaksi korosi.
- Elektroda acuan disebut juga elektroda pembanding untuk acuan potensial yang diberikan pada elektroda kerja serta potensial yang diberikan pada elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil-kecilnya sehingga dapat diabaikan.



Gambar 2. Sel tiga elektroda [1]

F. Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (Elektron Mikroskop) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisa.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Studi Literatur

Mempelajari buku-buku serta jurnal tentang korosi, pengelasan pada pipa serta data-data tentang pengujian korosi di ASTM G48.

B. Persiapan Material dan Pengelasan Pipa

Material yang digunakan dalam pengujian pada Tugas Akhir ini adalah pipa baja API 5L Grade X65 dengan *outside diameter* (OD) 5,5 inchi, *wallthickness* 0,593 inchi, dan *specified minimum yield strength* (SMYS) 6500 psi.

Pipa yang telah disiapkan ada 3 pasang pipa, tiap pasang akan di las menggunakan elektroda yang berbeda. Elektroda yang digunakan adalah E7018, E6013, dan E6010 klasifikasi AWS (*American Welding Society*). Mesin las yang digunakan adalah mesin las FCAW merk National. Pada saat proses pengelasan posisi yang digunakan adalah posisi 1G yaitu material pipa diputar saat mengelas, *welder* mengelas pipa yang diputar dan *welder* tidak berpindah dari posisi semula.

C. Pembuatan Spesimen Uji Korosi

Pembuatan spesimen untuk uji korosi ini mengacu pada ASTM G48, ketentuan ukuran spesimen untuk pengujian ini adalah panjang 50 mm, lebar 25 mm dan ketebalan sesuai dengan ketebalan pipa tersebut [7].

D. Persiapan Alat dan Media untuk Pengujian Korosi

Alat yang digunakan untuk pengujian korosi adalah sel tiga elektroda, komponen sel tiga elektroda yang baku terdiri dari elektroda kerja (spesimen uji), elektroda pembantu (batang karbon), elektroda acuan (dummy), larutan elektrolit (pengkorosif), sumber potensial, alat pengukur potensial dan alat pengukur arus. Larutan yang digunakan dalam pengujian ini adalah larutan besi klorida (FeCl_3) sesuai dengan ketentuan pada ASTM G48.

E. Pelaksanaan Percobaan Korosi

Dalam pelaksanaan pengujian ini digunakan peralatan sel tiga elektroda dengan bantuan *software* NOVA versi 1.8 yang dilakukan di Laboratorium Elektrokimia – Jurusan Teknik Kimia FTI ITS. Hasil dari pengamatan pengujian korosi ini adalah berupa grafik hubungan arus dan potensial, lalu diekstrapolasi dan dapat diketahui *corrosion rate* pada masing-masing spesimen. Berdasarkan hasil Icorr yang telah didapat lalu akan di hitung besarnya laju korosi dengan menggunakan persamaan Faraday [8] sebagai berikut:

$$\text{cpr} = \frac{k \cdot a \cdot i}{n \cdot D} \quad \text{mmpy}$$

dengan :

cpr = *corrosion penetrate rate*

k = Konstanta (0,00327 untuk mmpy)

a = Berat atom logam terkorosi (gram)

i = Kerapatan arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

D = Densitas logam terkorosi (gram/cm^3)

n = Jumlah elektron valensi logam terkorosi

F. Pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Spesimen yang paling korosif akan di ambil foto SEM pada permukaan lasannya. Spesimen yang difoto adalah spesimen yang nilai laju korosinya paling besar dari pipa yang di las dengan tiap jenis elektroda. Spesimen yang difoto akan ditunjukkan dengan perbesaran 100x hingga 5000x. Pelaksanaan foto SEM ini dilakukan di laboratorium SEM-

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Hasil laju korosi dan foto SEM kemudian dianalisa sehingga dapat dihasilkan kesimpulan.

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Laju Korosi pada Tiap Lasan Pipa

Pipa baja API 5L grade X65 merupakan jenis pipa yang banyak dipakai pada struktur anjungan minyak bumi dan gas. Pipa baja jenis ini banyak digunakan pada pipa penyalur gas, air, dan minyak karena lebih efisien dan ekonomis. Pipa API 5L grade X65 memiliki kekuatan luluh minimum (*minimum yield strength*) sebesar 448 MPa atau sama dengan 65000 psi. Pipa ini merupakan jenis pipa baja karbon dengan kandungan karbon maksimum 0,28% [9]. Pipa yang digunakan adalah jenis pipa seamless, setelah melalui proses pengelasan, pengambilan 4 spesimen untuk uji korosi dilakukan secara random. Pada percobaan ini digunakan larutan elektrolit FeCl_3 yang mempunyai salinitas 30 permil, senyawa ini sangat mempengaruhi terjadinya korosi. Elektroda yang di gunakan adalah elektroda klasifikasi AWS yaitu E7018, E6013, E6010.

Tabel 1. Tabel Hasil Percobaan Laju Korosi Pada Pipa API 5L Grade X65.

weld metal, E7018				
Percobaan ke	Spesimen	icor (μA/cm ²)	CR(mmpy)	Rata-rata CR (mmpy)
1	18E1	45,14000	0,52452	0,53
2	18E2	45,3490	0,52695	
3	18E3	44,7940	0,5205	
4	18E4	46,2880	0,53786	
weld metal, E6013				
Percobaan ke	Spesimen	icor (μA/cm ²)	CR(mmpy)	Rata-rata CR (mmpy)
1	13E1	48,9080	0,56831	0,69
2	13E2	48,7040	0,56594	
3	13E3	92,9690	1,0803	
4	13E4	48,3660	0,56201	
weld metal, E6010				
Percobaan ke	Spesimen	icor (μA/cm ²)	CR(mmpy)	Rata-rata CR (mmpy)
1	10E1	53,0270	0,61617	0,62
2	10E2	51,1300	0,59413	
3	10E3	54,8700	0,63759	
4	10E4	53,0900	0,6169	

Hasil percobaan uji korosi spesimen pipa API 5L Grade X65 terdapat pada tabel 1 dan dijelaskan bahwa pipa yang dilas menggunakan elektroda AWS E7018, untuk percobaan pertama laju korosi pada bagian logam las diperoleh icorr sebesar $45.14 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ dan *corrosion rate* (CR) sebesar 0.52452 mmpy. Nilai *corrosion rate* pada percobaan pertama hingga ke empat dirata-rata sehingga diperoleh rata-rata CR adalah 0,53 mmpy untuk hasil lasan dengan elektroda E7018. Hal ini juga berlaku untuk semua hasil percobaan untuk pengelasan dengan menggunakan elektroda E6013 dan E6010. Rata-rata CR untuk

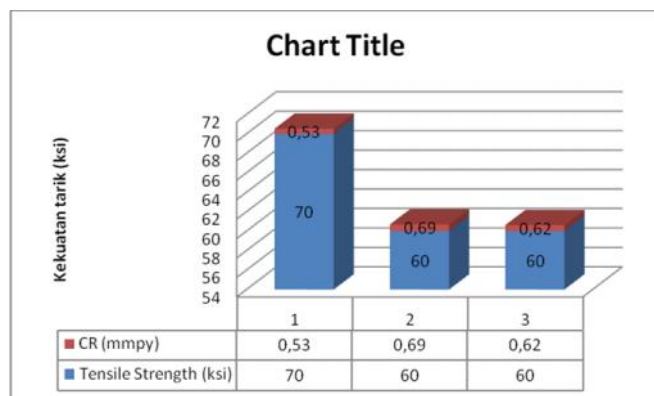
hasil lasan dengan elektroda E6013 adalah 0,69 mmpy dan elektroda E6010 adalah 0,62 mmpy.

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan 1, nilai laju korosi yang diperoleh dari hasil percobaan uji korosi menggunakan sel tiga elektroda hasilnya tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan laju korosi menggunakan persamaan Faraday.

Tabel 2.
Nilai Rata-rata CR dan Komposisi kimia pada Tiap Elektroda

Elektroda	Komposisi Kimia (%)									Rata-rata CR (mmpy)
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P	V	
E7018	0,12	0,75	1,6	0,2	0,3	0,3	0,035	0,035	-	0,53
E6013	0,1	0,27	0,37	0,06	0,06	0,01	0,035	-	0,01	0,69
E6010	0,13	0,2	0,4	0,05	0,04	0,01	-	-	0,01	0,62

Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa kandungan silikon (Si), unsur ini paling banyak dimiliki oleh E7018 sebanyak 0,75% sedangkan E6013 dan E6010 yang memiliki jumlah Si yang lebih sedikit yaitu 0,27% dan 0,2%. E7018 yang mengandung unsur Si lebih banyak memiliki rata-rata CR paling rendah dibanding yang lain, namun E6013 dengan jumlah silikon 0,27% memiliki rata-rata CR lebih tinggi dibandingkan E6010 yang hanya mengandung unsur Si 0,2% saja, sehingga dapat dikatakan bahwa banyak ataupun sedikitnya komposisi kimia yang terkandung dalam elektroda tidak mempengaruhi penambahan ataupun pengurangan laju korosi pada *weld metal*.



Gambar 3. Diagram batang hubungan kekuatan tarik minimum elektroda terhadap laju korosi

Pada gambar 3 diatas dapat dijelaskan bahwa elektroda yang memiliki kekuatan tarik lebih besar daripada *tensile strength* yang dimiliki oleh logam yang dilas akan menghasilkan laju korosi lebih kecil bila dibandingkan dengan elektroda yang memiliki kekuatan tarik minimum lebih rendah.

Tabel 3.

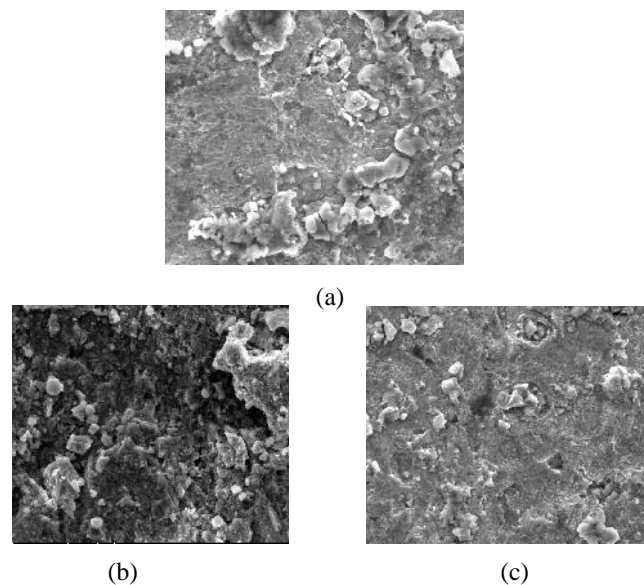
Selisih kandungan karbon (C) dan mangan (Mn) pada elektroda dan pipa API 5L X65 beserta nilai *corrosion rate*.

Jenis elektroda	C	Mn	Rata-rata CR (mmpy)
E7018	0,16	0,2	0,53
E6013	0,18	1,03	0,69
E6010	0,15	1	0,62

Pada tabel 3 dapat dilihat bahwa semakin sedikit selisih () unsur mangan (Mn), *corrosion rate* yang dihasilkan akan semakin rendah dan bila semakin tinggi selisih unsur Mn *corrosion rate* yang dihasilkan akan naik. Sedangkan selisih unsur karbon tidak berpengaruh pada perubahan *corrosion rate*. Dalam hal ini yang berpengaruh pada perubahan *corrosion rate* adalah unsur Mn saja.

B. Hasil Pengamatan FotoSEM

Pengamatan permukaan *weld metal* menggunakan mikroskop elektron bertujuan untuk melihat adanya permukaan terkorosi yang tidak terlihat secara kasat mata. Pengamatan ini dilakukan di Laboratorium SEM Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS. Untuk hasil pengujiannya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. Hasil Foto dengan Pembesaran 5000x pada Spesimen yang dilas dengan elektroda (a) E6010, (b) E6013, dan (c) E7018

Pada gambar 4 ditunjukkan bahwa morfologi permukaan spesimen sudah tidak smooth, hal ini merupakan inisiasi timbulnya kerusakan pada permukaan akibat proses korosi. Apabila proses ini dilanjutkan, semakin lama akan terlihat produk korosi yang lebih jelas.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Nilai laju korosi untuk pengelasan pipa API 5L Grade X65 dengan elektroda E7018 adalah 0.53 mmpy, untuk elektroda E6013 adalah 0,69 mmpy, dan untuk E6010 adalah 0.62mmpy.
- Perbedaan laju korosi akibat pengelasan dengan elektroda yang berbeda di pengaruhi oleh *tensile strength* pada elektroda dan baja yang di las. Apabila baja tersebut dilas menggunakan elektroda yang memiliki nilai *tensile strength* lebih rendah dari nilai *tensile strength* baja tersebut, maka

nilai *corrothion rate* akan lebih tinggi dan begitu juga sebaliknya. Selisih kandungan unsur Mangan (Mn) pada pipa dan elektroda las juga mempengaruhi perbedaan laju korosi pada pipa.

- Berdasarkan hasil foto SEM (*Scanning Electron Microscope*), secara morfologi permukaan *weld metal* yang terkorosi sudah ada inisial korosi. Pada permukaan *weldmetal* dengan nilai laju korosi paling tinggi, permukaanya terlihat lebih kasar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Imam Rochani dan Bapak Heri Supomo selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu, dan arahan dalam proses pengerjaan tugas akhir serta berbagai pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Trethewey, K.R. and J. Chamberlain, *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, (1991).
- [2] Supomo, Heri, *Buku Ajar Korosi*, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS, Surabaya, (2003).
- [3] Burhani, *Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Laju Korosi pada Pengelasan Pelat Baja SS-41*, Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya, (2001).
- [4] Supriyanto, *Pengaruh Konsentrasi Larutan NaCl 2% dan 3,5% Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah*, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, (2007).
- [5] Bintoro, A, "Dasar-Dasar Pekerjaan Las", Kanisius, Yogyakarta, (2005).
- [6] Widharto, S, *Petunjuk Kerja Las*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, (2001).
- [7] ASTM G48, *Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution*, ASTM international, (2003).
- [8] Fontana, M.G, *Corrosion Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York, (1987).
- [9] API, *Spesification 5L Forth Second edition, Spesification for line pipe*, Washington : API Published Service, (2004).